

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-3-268-280>

УДК 628.112

Методика гидравлического расчета групповых скважинных водозаборов с парными сборными водоводами

В. В. Вереме́нюк¹⁾, В. В. Ива́шечкин¹⁾, В. И. Кри́цкая¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2024
Belarusian National Technical University, 2024

Реферат. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов и крупных промышленных предприятий широко используются групповые скважинные водозаборы, в которых для транспортировки воды от скважин к сборным узлам проектируют сборные водоводы. Выбор оптимальной схемы размещения сборных водоводов определяется после технико-экономических и гидравлических расчетов всего водозабора с учетом характеристик скважин и установленных в них глубинных насосов, параметров всех напорных трубопроводов. Гидравлические расчеты базируются на разработанной математической модели водозабора, которая должна обеспечивать получение достоверных данных о подачах насосов, понижениях уровней воды в скважинах, расходах и напорах в системе сборных водоводов при любом количестве и сочетании работающих скважин. Это позволяет осуществить правильный подбор насосов и снизить энергозатраты на подъем и транспортировку воды. Статья посвящена разработке методики гидравлического расчета групповых скважинных водозаборов с парными сборными водоводами, которые применяются на водозаборах большой производительности в системах водоснабжения с высокой степенью обеспеченности подачи воды. Сложность расчета таких водозаборов заключается в том, что здесь каждая скважина одновременно подает воду в две нитки сборных водоводов, что отличает эту схему подачи воды в сборный узел от других типовых схем. В статье представлены расчетные схемы и алгоритм гидравлического расчета группового водозабора, который рассмотрен как система с нефиксированными подачами воды. Алгоритм расчета базируется на учете баланса напоров в водоводах с включенными в них насосами и баланса расходов в узлах по всем участкам сборных водоводов. Разработана программа на ЭВМ, и представлены результаты численного расчета водозабора подземных вод, оборудованного парными сборными водоводами и состоящего из 15 скважин.

Ключевые слова: водозабор подземных вод, водоснабжение, парные сборные водоводы, алгоритм расчета, удельный дебит скважин, баланс напоров

Для цитирования: Вереме́нюк, В. В. Методика гидравлического расчета групповых скважинных водозаборов с парными сборными водоводами / В. В. Вереме́нюк, В. В. Ива́шечкин, В. И. Кри́цкая // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2024. Т. 67, № 3. С. 268–280. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-3-268-280>

Адрес для переписки

Ивашечкин Владимир Васильевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 67/2,
220065, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-30-13
ivashechkin_vlad@mail.ru

Address for correspondence

Ivashechkin Vladimir V.
Belarusian National Technical University
67/2, Nezavisimosty Ave.,
220065, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-30-13
ivashechkin_vlad@mail.ru

Hydraulic Calculation Methodology for Group Well Water Intakes with Paired Prefabricated Water Pipelines

V. V. Veremenyuk¹⁾, V. V. Ivashechkin¹⁾, V. I. Krytskaya¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. For domestic and drinking water supply for cities and large industrial enterprises, group well water intakes are widely used, in which prefabricated water pipelines are designed to transport water from wells to collection points. The choice of the optimal layout of prefabricated water pipelines is determined after technical, economic and hydraulic calculations of the entire water intake, taking into account the characteristics of wells and deep-well pumps installed in them, and the parameters of all pressure pipelines. Hydraulic calculations are based on a developed mathematical model of water intake, which should provide reliable data on pump flows, drops in water levels in wells, flow rates and pressures in the collecting water pipeline system for any number and combination of operating wells. This allows for the correct selection of pumps and reduces energy costs for lifting and transporting water. The article is devoted to the development of a methodology for hydraulic calculation of group well water intakes with paired collection water pipelines, which are used at high-capacity water intakes in water supply systems with a high degree of water supply security. The difficulty in calculating such water intakes lies in the fact that here each well simultaneously supplies water to two strings of collecting water pipelines, which distinguishes this scheme for supplying water to a collecting unit from other standard schemes. The article presents calculation schemes and an algorithm for hydraulic calculation of group water intake, which is considered as a system with non-fixed water supplies. The calculation algorithm is based on taking into account the balance of pressures in water pipelines with pumps included in them and the balance of flow rates in nodes for all sections of prefabricated water pipelines. A computer program has been developed and the results of a numerical calculation of groundwater intake, equipped with paired prefabricated water pipelines and consisting of 15 wells, are presented.

Keywords: groundwater intake, water supply, paired prefabricated water pipelines, calculation algorithm, specific flow rate of wells, pressure balance

For citation: Veremenyuk V. V., Ivashechkin V. V., Krytskaya V. I. (2024) Hydraulic Calculation Methodology for Group Well Water Intakes with Paired Prefabricated Water Pipelines. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 67 (3), 268–280. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-3-268-280> (in Russian)

Введение

Групповые скважинные водозаборы имеют в своем составе сборные водоводы, которые служат для транспортировки воды от скважин к сооружениям очистки и подготовки воды (сборным узлам). Типовые схемы сборных водоводов в плане могут быть линейными (тупиковыми), кольцевыми и парными [1–2]. Выбор той или иной схемы сборных водоводов при проектировании водозабора должен производиться на основе результатов гидравлических и технико-экономических расчетов и зависит от расположения скважин и сборных узлов (СУ), геологических и гидрогеологических условий места размещения водозабора, категории надежности подачи воды потребителю и ряда других факторов. На стадии разработки проекта должна производиться проверка работоспособности системы на основе комплексных расчетов водозабора подземных вод, который представляет собой единую гидравлическую систему, состоящую из взаимодействующих

между собой скважин с погружными насосами, работающими параллельно на сборные водоводы. В результате комплексных расчетов водозаборов получают значения подачи погружных насосов и понижений уровней воды в скважинах, расходов и потерь напора в сборных водоводах при различном количестве работающих скважин. Комплексные расчеты должны производиться на различные режимы и периоды эксплуатации водозаборов с учетом взаимовлияния скважин, кольматажа их фильтров и сработки запасов подземных вод. Однако часто происходит так, что введенные в действие сооружения в процессе эксплуатации работают в режиме, не соответствующем расчетному [3]. Это происходит в связи с тем, что фактические гидравлические характеристики скважин часто отличаются от проектных, а прогнозная сработка запасов подземных вод и интенсивность роста гидравлических сопротивлений фильтров скважин, линий подключения к сборным водоводам и в самих сборных водоводах не соответствуют расчетным значениям, полученным на стадии проектирования. Кроме этого, наблюдается износ погружных насосов в процессе эксплуатации, что приводит к снижению их напорно-расходных характеристик [4]. Поэтому выполнение комплексных расчетов необходимо не только на стадии проектирования водозаборов, но и по результатам обследования водозаборов в процессе эксплуатации, в том числе и после тампонажа старых и перебурирования вышедших из строя скважин. Расчеты должны содержать прогноз по снижению производительности водозабора во времени и рекомендации по повышению эффективности его работы [5–6]. Это необходимо для водозаборов с любыми плановыми схемами сборных водоводов.

Часто после расширения водозабора путем бурения новых скважин появляются новые участки сборных водоводов и перемычки между старыми и новыми участками. В этом случае схема сборных водоводов в плане изменяется и может трансформироваться из более простого вида в более сложный, например из линейной в кольцевую или в схему с парными водоводами. Часто схема сборных водоводов после реконструкции крупного скважинного водозабора становится очень сложной, комбинированной и представляет собой совокупность типовых и более сложных схем. Поэтому для создания математических моделей крупных водозаборов со сложными нетиповыми схемами сборных водоводов необходимо владеть алгоритмами расчета водозаборов с типовыми схемами. Это особенно актуально в связи с тем, что в настоящее время идет процесс перевода водоснабжения г. Минска на подземные воды и расширение действующих групповых скважинных водозаборов «Острова», «Вицковщина» и «Фелицианово» путем бурения около 100 новых скважин [7].

Методика комплексных расчетов групповых водозаборов с типовой линейной схемой соединения сборных водоводов освещена в литературе [1, 5, 6, 8]. В БНТУ разработаны алгоритмы и программы на ЭВМ водозаборов с разветвленной и кольцевой схемами соединения сборных водоводов, получен опыт создания имитационных моделей крупных групповых скважинных водозаборов по результатам обследования [9–10].

Водозаборы с типовой схемой парных сборных водоводов являются сложными в части создания математических моделей по сравнению с другими типовыми схемами, так как здесь одна и та же скважина подсоединена двумя отдельными линиями к двум ниткам сборных водоводов, в то время как в линейных и кольцевых сборных водоводах каждая скважина подключена только к одному сборному водоводу. Это приводит к тому, что расход воды, подаваемой погружным насосом скважины, распределяется по двум парным сборным водоводам в неизвестных пропорциях, и это создает дополнительные трудности при разработке имитационной модели водозабора. В литературе отсутствуют методики расчета групповых скважинных водозаборов с парными сборными водоводами, что затрудняет создание их математических моделей и моделей водозаборов с более сложной конфигурацией сборных водоводов.

Целью настоящей работы является разработка алгоритма и методики гидравлического расчета групповых скважинных водозаборов с парными сборными водоводами.

Основная часть

Парные сборные водоводы с концевым и центральным расположением сборного узла (рис. 1) проектируют при большой производительности водозаборов и относительно коротких сборных водоводах [1, 2].

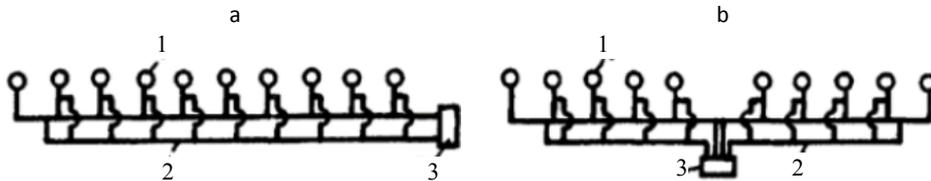


Рис. 1. Типовые схемы скважинных водозаборов с парными сборными водоводами:

a – с концевым расположением сборного узла;

b – с центральным расположением сборного узла;

1 – водозаборная скважина; 2 – сборные водоводы; 3 – сборный узел

Fig. 1. Typical diagrams of well water intakes with paired collection water pipelines:

a – with end location of prefabricated unit;

b – with central location of prefabricated unit;

1 – water well; 2 – prefabricated water pipelines; 3 – prefabricated unit

Наличие двух ниток сборных водоводов, идущих к сборному узлу, с которыми одновременно двумя линиями подключения соединена каждая скважина, повышает надежность системы водоснабжения, так как при выходе из строя одной нитки работает вторая.

Сразу же отметим, что при центральном расположении сборного узла (рис. 1b) правое и левое крылья водозабора работают независимо друг от друга и методика их расчета будет такой же, как и у водозабора с концевым расположением сборного узла (рис. 1a), поэтому ограничимся рассмотрением только этой схемы.

Расчетная схема водозабора с парными сборными водоводами и конечным расположением сборного узла представлена на рис. 2.

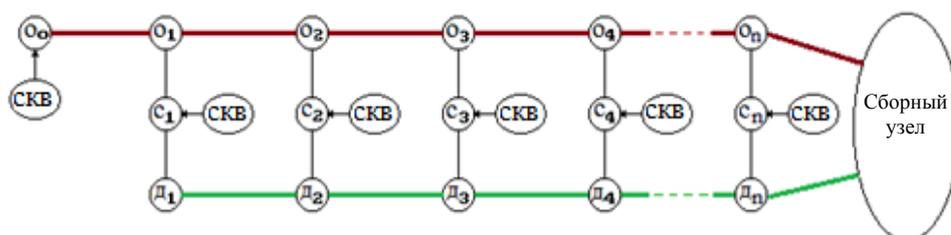


Рис. 2. Схема группового скважинного водозабора подземных вод с парными сборными водоводами и конечным расположением сборного узла, содержащего $n + 1$ скважину: скв – водозаборные скважины; $o_0, o_1, o_2, \dots, o_n$ – водопроводные колодцы на основной линии сборного водовода; d_1, d_2, \dots, d_n – то же на дополнительной линии сборного водовода; c_1, c_2, \dots, c_n – то же, к которым подключены скважины (первая скважина подключена к колодцу o_0)

Fig. 2. Scheme of group well groundwater intake with paired collection water pipeline and the end location of a collection unit containing $n + 1$ wells: скв – water intake wells; $o_0, o_1, o_2, \dots, o_n$ – water wells on the main collection water lines; d_1, d_2, \dots, d_n – the same on the additional line of the collection water pipeline; c_1, c_2, \dots, c_n – the same, to which the wells are connected (the first well is connected to the well o_0)

Для моделирования используем исходные данные двух типов: гидрогеологические и конструктивные (параметры сборных водоводов водозабора, соединительных труб, скважин и насосов). На данные первого типа проектировщик повлиять, как правило, не может, а используя алгоритмы моделирования и варьируя в разумных пределах данные второго типа, он способен решать различные оптимизационные задачи.

Предлагаемая в данной работе методика расчета парных водоводов с конечным расположением СУ базируется на разработанном ранее алгоритме расчета водозаборов сложной конфигурации с площадным размещением скважин [9].

Следуя этому алгоритму, мы должны использовать как положительные значения расходов по участкам водоводов, так и отрицательные. Поэтому оговорим следующие соглашения:

1) положительные значения расходов на участках $o_k - o_{k+1}$, $k = 0, 1, 2, \dots, n$, (а также на участках $d_k - d_{k+1}$, $k = 1, 2, \dots, n$) соответствуют движению воды от колодца o_k в сторону колодца o_{k+1} (соответственно от колодца d_k в сторону колодца d_{k+1}). Для отрицательных значений расходов на этих участках движение происходит в противоположных направлениях;

2) положительные значения расходов на участках $o_k - c_k$ (а также на участках $c_k - d_k$), $k = 1, 2, \dots, n$, соответствуют движению воды от колодца o_k в сторону колодца c_k (соответственно от колодца c_k в сторону колодца d_k). Для отрицательных значений расходов на этих участках движение происходит в противоположных направлениях.

Следуя [9], для схемы водозабора, представленной на рис. 2, мы имеем n простых колец.

Первые (считая слева направо) $n - 1$ колец содержат по 6 ВК (например, 1-е кольцо содержит колодцы $o_1, c_1, d_1, d_2, c_2, o_2$). Эти кольца далее будем называть начальными. Последнее n -е кольцо содержит 3 ВК (o_n, c_n, d_n) и СУ. Его будем называть конечным кольцом. Согласно [9], нам надо ввести в рассмотрение n неизвестных расходов: x_1, x_2, \dots, x_n , которые могут принимать как положительные, так и отрицательные значения. У нас это будут x_i – расходы на участках $o_i - c_i$ (рис. 3).

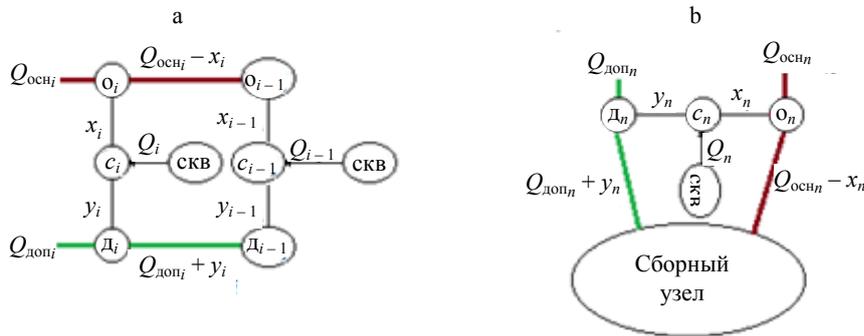


Рис. 3. Схемы для расчета колец парного сборного водозабора: а – начальное кольцо с номером i ; б – конечное кольцо

Fig. 3. Schemes for calculating rings of paired collection water intake: а – initial ring with number i ; б – final ring

Эти неизвестные найдем, исходя из того, что суммарные потери при движении по кольцу должны равняться нулю. В результате мы добьемся соблюдения принципа равенства потерь напора при движении воды от любого узла водовода до СУ по различным путям движения. Напомним, потери $\Pi_{AB}(Q)$ при движении расхода Q по участку AB водовода находим по правилу:

$$\Pi_{AB}(Q) = \begin{cases} G_{AB}Q^2, & \text{при } Q \geq 0; \\ -G_{AB}Q^2, & \text{при } Q < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где G_{AB} – коэффициент гидравлического сопротивления (далее КГС) участка AB . КГС рассчитывают с использованием таблиц [11] по значениям диаметров труб на участке, их материала и длины, а также скорости протекания воды по данному участку.

Теперь опишем процесс составления системы уравнений для нахождения расходов x_1, x_2, \dots, x_n при условии, что заданы расходы скважин Q_0, Q_1, \dots, Q_n (при $k > 0$: Q_k – расход скважины, подключенной к ВК c_k , Q_0 – расход скважины, подключенной к ВК o_0).

Рассмотрим начальное кольцо с номером $i, 1 \leq i \leq n - 1$ (рис. 3а). Здесь $Q_{осн_i}$ – входной расход по основной линии, который определяется рекур-

рентно: $Q_{осн_i} = Q_0$ и $Q_{осн_i} = Q_{осн_{i-1}} - x_{i-1}$ при $i > 1$. Далее, расходы y_i определяются равенством

$$y_i = Q_i + x_i. \quad (2)$$

Входной расход $Q_{доп_i}$ по дополнительной линии также определяем рекуррентно: $Q_{доп_1} = 0$ и $Q_{доп_i} = Q_{доп_{i-1}} + y_{i-1}$ при $i > 1$. Уравнение баланса потерь по i -му кольцу с учетом (1) и (2) имеет вид

$$\begin{aligned} \Pi_{o_i c_i}(x_i) + \Pi_{c_i d_i}(y_i) + \Pi_{d_i d_{i+1}}(Q_{доп_i} + y_i) + \Pi_{d_{i+1} c_{i+1}}(y_{i+1}) + \\ + \Pi_{c_{i+1} o_{i+1}}(x_{i+1}) + \Pi_{o_i o_{i+1}}(Q_{осн_i} - x_i) = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Рассмотрим конечное кольцо с номером n (рис. 3б). Здесь $Q_{осн_n}$ – входной расход по основной линии; $Q_{доп_n}$ – то же по дополнительной линии (которые определяются, как это описано ранее). Расход y_n находится по формуле (2). Уравнение баланса потерь по конечному кольцу с учетом (1) и (2) имеет вид:

$$\Pi_{o_n c_n}(x_n) + \Pi_{c_n d_n}(y_n) + \Pi_{d_n cу}(Q_{доп_n} + y_n) + \Pi_{o_n cу}(Q_{осн_n} - x_n) = 0. \quad (4)$$

Итак, при наличии значений расходов скважин Q_0, Q_1, \dots, Q_n мы можем составить систему n уравнений (3)–(4), для нахождения неизвестных расходов x_1, x_2, \dots, x_n и, следовательно, такое распределение расходов воды по участкам водовода, при котором будет выполнено, во-первых, требование закона Кирхгофа [9], а во-вторых, требование равенства потерь напора при движении воды от любого узла водовода до СУ по различным путям движения. Эту систему будем называть системой реального распределения воды (РРВ).

Система РРВ содержит неизвестные x_1, x_2, \dots, x_n (1) как явно, так и неявно через КГС участков, которые зависят от скорости протекания воды по участку [8]. В связи с этим многие известные методы решения систем уравнений здесь не годятся. Поэтому для решения системы РРВ мы предлагаем использовать метод итераций. Предварительно оговорим, что меру отличия двух векторов $\bar{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ и $\bar{b} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ будем определять по формуле

$$|\bar{a} - \bar{b}| = \sqrt{\sum_{k=1}^n (a_k - b_k)^2}. \quad (5)$$

Для решения системы РРВ методом итераций требуется выполнить следующие действия:

1) задаем точность $\varepsilon > 0$ и начальный вектор расходов $\bar{x}^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$ (при расчете конкретной системы брали нулевой вектор $\bar{x}^{(0)} = (0, 0, \dots, 0)$);

2) при условии, что нашли вектор $\bar{x}^{(k)} = (x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})$, $k \geq 0$, последовательно увеличивая номер i , находим расходы $x_i^{(k+1)}$, $i = 1, \dots, n$, для чего методом половинного деления решаем с точностью $0,1\varepsilon$ уравнение (3) относительно x_i (при этом значение x_{i+1} считаем равным $x_{i+1}^{(k)}$, $i < n$), не забывая пересчитывать, когда это необходимо, участвующие в (1) КГС; значение $x_i^{(k+1)}$ считается равным найденному значению x_i ;

3) если $|\bar{x}^{(k+1)} - \bar{x}^{(k)}| > \varepsilon$ (5), то возвращаемся в выполнении пункта 2, в противном случае найденный вектор $\bar{x}^{(k+1)}$ считаем искомым решением.

Отметим, что в представленном ниже примере с числом колец $n = 14$ (15 скважин) для $\varepsilon = 10^{-5}$ подобная процедура потребовала максимум 7 итераций.

Сформулируем алгоритм моделирования работы водозабора с парными сборными водоводами и концевым расположением СУ на основе алгоритма, изложенного в [9, с. 10]. Выполняем 1-й шаг этого алгоритма [9] с учетом схемы рис. 1. Если найдены некоторые приближенные значения расходов скважин $Q_0^{(i)}, Q_1^{(i)}, \dots, Q_n^{(i)}$, то, составляя и решая систему РРВ, находим расходы на каждом участке водозабора между ВК (как это было описано выше). Далее необходимо выполнить (без всяких изменений) 2-й шаг алгоритма из [9].

Пример. Расчетная схема представлена на рис. 3. Исходные данные по скважинам и водоводу (табл. 1–5) взяты из реального объекта – участка группового водозабора «Петровщина» г. Минска.

Таблица 1

Параметры скважин и насосного оборудования

Parameters of wells and pumping equipment

Наименование скважины – ВК	Удельный дебит q , м ² /ч	Статический напор $H_{ст}$, м	Отметка устья скважины, м	Коэффициент характеристики насоса $H^H = f(Q)$		
				$-a$, ч ² /м ⁵	b , ч/м ²	c , м
1	2	3	4	5	6	7
1б – о0	15,1	8,38	220,3	0,0049	0,1361	75,7
1а – с1	2,6	35,9	216,9	0,0097	0,1219	140,4
2в – с2	3,5	10,3	216,4	0,0105	0,0209	79,96
5б – с3	3,8	7,93	221,2	0,0064	0,2652	84,45
6б – с4	12,0	6,35	215,9	0,004	0,071	67,62
8а – с5	2,48	34,4	209,9	0,0188	0,2785	127,5
10б – с6	4,12	7,04	209,2	0,0054	0,2251	66,16
3б – с7	9,7	9,43	209,0	0,0115	0,9391	63,15

Окончание табл. 1
End of Table 1

1	2	3	4	5	6	7
4а – с8	3,8	33,9	208,9	0,0277	0,2785	124,9
9б – с9	3,9	4,7	209,0	0,0036	0,1023	81,36
10в – с10	2,18	6,4	210,5	0,0055	0,2513	68,82
13б – с11	4,7	2,75	209,2	0,021	1,071	86,8
12б – с12	4,9	6,0	209,5	0,0166	1,3651	40,57
11а – с13	2,35	28,1	211,0	0,0162	0,1061	107,6
11в – с14	10,7	6,41	210,7	0,0173	1,3564	67,9

Таблица 2

Параметры водоподъемных труб и линий подключения скважин
Parameters of water-lifting pipes and well connection lines

Наименование скважины – ВК	Параметры водоподъемных труб			Параметры линий подключения		
	Диаметр $D_{вп}$, мм	Длина $L_{вп}$, м	Материал	Диаметр $D_{лп}$, мм	Длина $L_{лп}$, м	Материал
1б – о0	100	29,0	чугун	125	25,0	п/э
1а – с1	150	7,0	чугун	125	82,0	п/э
2в – с2	100	15,0	сталь	125	44,0	п/э
5б – с3	150	27,0	чугун	140	32,5	п/э
6б – с4	150	8,0	чугун	125	25,0	п/э
8а – с5	150	13,0	чугун	125	63,4	п/э
10б – с6	150	28,6	чугун	140	31,5	п/э
3б – с7	150	12,5	чугун	125	32,0	п/э
4а – с8	100	40,0	чугун	125	51,0	п/э
9б – с9	160	40,5	п/э	110	37,6	п/э
10в – с10	100	12,0	чугун	125	38,0	п/э
13б – с11	160	19,5	п/э	125	26,0	п/э
12б – с12	100	12,2	п/э	125	32,0	п/э
11а – с13	160	30,0	чугун	125	76,0	п/э
11в – с14	110	44,0	п/э	125	32,0	п/э

Таблица 3

Параметры участков основной (красной) линии сборного водовода
Parameters of sections of the main (red) line of the collecting water pipeline

ВК в начале участка	Отметка устья ВК в начале участка, м	ВК в начале участка	Параметры труб (от начального ВК до конечного ВК можно задать 3 участка труб)								
			Материал	Диаметр D , мм	Длина L , м	Материал	Диаметр D , мм	Длина L , м	Материал	Диаметр D , мм	Длина L , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
о ₀	220,3	о ₁	чугун	150	57,75				–	–	–
о ₁	217,56	о ₂	чугун	150	81,0	чугун	150	200,0	–	–	–
о ₂	215,26	о ₃	чугун	200	576,0				–	–	–
о ₃	224,0	о ₄	чугун	200	103,0	чугун	250	200,0	–	–	–

Окончание табл. 3
End of Table 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
o ₄	215,85	o ₅	чугун	250	10,0	чугун	200	61,6	–	–	–
o ₅	210,74	o ₆	чугун	250	205,0	п/э	315	165,0	–	–	–
o ₆	209,15	o ₇	чугун	250	19,5	чугун	300	195,5	–	–	–
o ₇	209,15	o ₈	чугун	300	33,0	п/э	315	191,0	чуг.	300	122
o ₈	208,86	o ₉	чугун	300	36,5	п/э	315	96,5	–	–	–
o ₉	209,16	o ₁₀	чугун	250	15,0	чугун	250	35,0	–	–	–
o ₁₀	210,74	o ₁₁	чугун	350	53,0	чугун	350	254,0	–	–	–
o ₁₁	209,5	o ₁₂	чугун	300	56,0	чугун	300	200,0	–	–	–
o ₁₂	208,14	o ₁₃	п/э	315	84,0	чугун	300	110,0	–	–	–
o ₁₃	211,35	o ₁₄	чугун	300	34,0	чугун	300	34,0	–	–	–
o ₁₄	211,1	СУ	сталь	400	73,7	сталь	300	179,3	чуг.	300	36

Таблица 4

Параметры участков дополнительной (зеленой) линии сборного водовода

Parameters of sections of the additional (green) line of the collection water pipeline

ВК в начале участка	Отметка устья ВК в начале участка, м	ВК в начале участка	Параметры труб (от начального ВК до конечного ВК можно задать 3 участка труб)								
			Мате- риал	Диаметр D, мм	Длина L, м	Мате- риал	Диаметр D, мм	Длина L, м	Мате- риал	Диаметр D, мм	Длина L, м
д ₁	217,49	д ₂	чугун	200	281,0	–	–	–	–	–	–
д ₂	215,7	д ₃	чугун	200	574,4	–	–	–	–	–	–
д ₃	218,4	д ₄	чугун	200	304,4	–	–	–	–	–	–
д ₄	215,7	д ₅	п/э	250	71,0	–	–	–	–	–	–
д ₅	213,45	д ₆	чугун	200	134,0	чугун	250	171,0	п/э	250	66,0
д ₆	210,0	д ₇	чугун	250	217,0	–	–	–	–	–	–
д ₇	217,75	д ₈	чугун	300	346,0	–	–	–	–	–	–
д ₈	208,0	д ₉	чугун	250	133,0	–	–	–	–	–	–
д ₉	209,0	д ₁₀	чугун	250	50,7	–	–	–	–	–	–
д ₁₀	211,0	д ₁₁	чугун	350	307,7	–	–	–	–	–	–
д ₁₁	211,0	д ₁₂	чугун	300	258,0	–	–	–	–	–	–
д ₁₂	207,0	д ₁₃	п/э	315	190,0	–	–	–	–	–	–
д ₁₃	209,7	д ₁₄	п/э	315	70,0	–	–	–	–	–	–
д ₁₄	210,7	СУ	п/э	315	290,0	–	–	–	–	–	–

Таблица 5

Параметры соединительных участков сборного водовода

Parameters of the connecting sections of the prefabricated water pipeline

Соединительный участок	Ветки o _m – c _m			Ветки c _m – д _m		
	Диаметр D _{вп} , мм	Длина L _{вп} , м	Материал	Диаметр D _{лп} , мм	Длина L _{лп} , м	Материал
1	2	3	4	5	6	7
o ₁ – c ₁ – д ₁	150	37,25	чугун	200	30,5	чугун
o ₂ – c ₂ – д ₂	250	47,55	чугун	200	42,25	чугун
o ₃ – c ₃ – д ₃	250	42,8	чугун	200	26,5	чугун

Окончание табл. 5
End of Table 5

1	2	3	4	5	6	7
o ₄ – c ₄ – Д ₄	250	36,8	чугун	250	30,4	чугун
o ₅ – c ₅ – Д ₅	250	76,0	чугун	200	36,0	чугун
o ₆ – c ₆ – Д ₆	250	35,0	чугун	250	25,0	чугун
o ₇ – c ₇ – Д ₇	250	25,0	чугун	300	33,0	чугун
o ₈ – c ₈ – Д ₈	300	20,0	чугун	250	19,5	чугун
o ₉ – c ₉ – Д ₉	250	19,0	чугун	250	13,0	чугун
o ₁₀ – c ₁₀ – Д ₁₀	350	46,0	чугун	300	36,0	чугун
o ₁₁ – c ₁₁ – Д ₁₁	300	36,0	чугун	300	26,0	чугун
o ₁₂ – c ₁₂ – Д ₁₂	300	40,0	чугун	250	24,0	чугун
o ₁₃ – c ₁₃ – Д ₁₃	300	30,0	чугун	300	20,0	чугун
o ₁₄ – c ₁₄ – Д ₁₄	300	18,6	чугун	300	22,5	чугун

Ниже приведены результаты расчетов для водозабора с парными сборными водоводами, указанного на рис. 2, с исходными данными из табл. 1–5. (На рис. 4: синие эллипсы – подключенные скважины, внутри указаны их названия и рассчитанные расходы, м³/ч. Вдоль участков между ВК в числителе указаны пропускаемые расходы, м³/ч, в знаменателе – потери напора, мм).

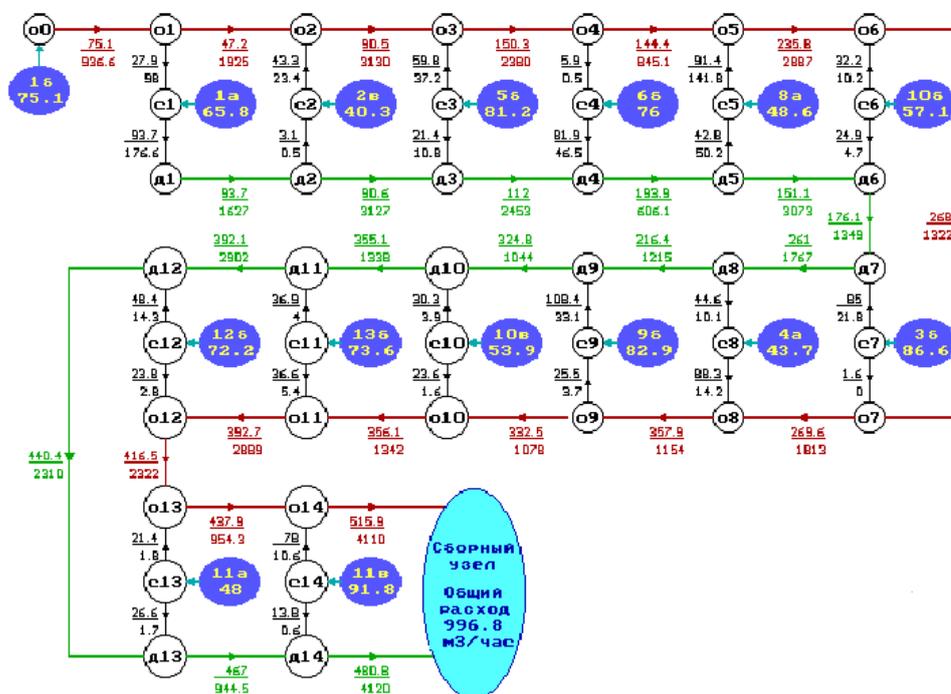


Рис. 4. Пример расчета водозабора с парными сборными водоводами согласно указанному алгоритму

Fig. 4. Example of calculating water intake with paired prefabricated water pipelines according to the specified algorithm

Анализ результатов расчета показывает, что все кольцевые участки сборных водоводов уравновешены по потерям напора и по расходам.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны алгоритм и методика гидравлического расчета группового скважинного водозабора с парными сборными водоводами, которые базируются на принципе равенства потерь напора при движении воды от точки разделения двух потоков до сборного узла по различным путям движения и уравнении неразрывности. Полученная методика расчета может применяться при любом количестве скважин.

2. Рассмотрен пример гидравлического расчета группового скважинного водозабора, состоящего из 15 скважин, подключенных к парным сборным водоводам. Построена математическая модель водозабора и составлена компьютерная программа расчета, которая позволяет моделировать работу водозабора при любом сочетании включенных скважин, осуществлять подбор насосов с разными напорными характеристиками, менять длины, диаметры и материал трубопроводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02–84) / ВНИИВОДГЕО Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1989. 272 с.
2. Водозаборные сооружения: СП 4.01.03–2022: введ. 10.03.2023. Минск: Минстройархитектуры, 2023. 79 с.
3. Плотников, Н. А. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод / Н. А. Плотников, В. С. Алексеев. М.: Стройиздат, 1990. 256 с.
4. Методика анализа фактического технического состояния скважинного насосного оборудования / В. В. Ивашечкин [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 3. С. 275–286. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-3-275-286>.
5. Ивашечкин, В. В. Прогноз снижения удельного дебита скважин в процессе эксплуатации / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, Э. И. Михневич // Мелиорация. 2012. № 2. С. 33–43.
6. Ивашечкин, В. В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин / В. В. Ивашечкин; под ред. А. Д. Гуриновича. Минск: БНТУ, 2005. 270.
7. Говорко, А. П. Перевод г. Минска на водоснабжение из подземных источников / А. П. Говорко // Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения: материалы Междунар. конф., Минск, 13–14 февр. 2019 г.: в 2 ч. Минск: БГТУ, 2019. Ч. 2. С. 37–40.
8. Старинский, В. П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов / В. П. Старинский, Л. Г. Михайлик. Минск: Выш. шк., 1989. 269 с.
9. Веремеенюк, В. В. Математические модели скважинных водозаборов с разветвленной и кольцевой схемами соединения сборных водоводов / В. В. Веремеенюк, В. В. Ивашечкин, В. И. Крицкая // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2020. Т. 63, № 6. С. 563–580. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-6-563-580>.
10. Веремеенюк, В. В. Моделирование работы скважинного водозабора с кольцевым сборным водоводом / В. В. Веремеенюк, В. В. Ивашечкин, В. И. Крицкая // Энергетика. Изв.

высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2023. Т. 66, № 3. С. 283–300. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2023-66-3-289-300>.

11. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. М.: Бастет, 2016. 428 с.

Поступила 05.12.2023 Подписана в печать 07.02.2024 Опубликована онлайн 31.05.2024

REFERENCES

1. All-Union Scientific Research Institute “VODGEO” of State Construction Committee of the USSR (1989) *Guide to Designing Structures for Groundwater Intake* to SNiP – Construction Rules and Regulations 2.04.02–84). Moscow, Stroyizdat Publ. 272 (in Russian).
2. SP 4.01.03–2022. *Water Intake Structures*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2023 (in Russian).
3. Plotnikov N. A., Alekseev V. S. (1990) *Design and Operation of Groundwater Intakes*. Moscow, Stroyizdat Publ. 256 (in Russian).
4. Ivashechkin V. V., Krytskaya V. I., Anufriev V. N., Avrutin O. A. (2021) Methodology for Analyzing the Actual Technical Condition of Downhole Pumping Equipment. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 64 (3), 275–286. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-3-275-286> (in Russian).
5. Ivashechkin V. V., Sheyko A. M., Mikhnevich E. I. (2012) Forecast for Reducing the Specific Production Rate of Wells during Operation. *Melioratsiya = Land Reclamation*, (2), 33–43 (in Russian).
6. Ivashechkin V. V. (2005) *Gas Pulse Technology for Restoring the Capacity of Water Intake Well Filters*. Minsk, Belarusian National Technical University. 270 (in Russian).
7. Govorko A. P. (2019) Transfer of Minsk to Water Supply from Underground Sources. *Sovremennye Tendentsii v Razvitii Vodospabzheniya i Vodootvedeniya: Materialy Mezhdunar. Konf., Minsk, 13–14 Fevr. 2019 g. Ch. 2* [Current Trends in the Development of Water Supply and Sanitation: Proceedings of International Conference, Minsk, February 13–14, 2019. Part 2]. Minsk, Belarusian State Technological University, 37–40 (in Russian).
8. Starinsky V. P., Mikhaylik L. G. (1989) *Water Intake and Treatment Facilities for Public Water Pipelines*. Minsk, Vysshaya Shkola Publ. 269 (in Russian).
9. Veremenyuk V. V., Ivashechkin V. V., Krytskaya V. I. (2020) The Borehole Water Intakes Mathematical Models with a Branched and Circular Connection Schemes for Prefabricated Water Conduits. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 63 (6), 563–580. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-6-563-580> (in Russian).
10. Veremenyuk V. V., Ivashechkin V. V., Krytskaya V. I. (2023) Simulation of the Operation of a Borehole Groundwater Intake with an Annular Prefabricated Conduit. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 66 (3), 289–300. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2023-66-3-289-300> (in Russian).
11. Shevelev F. A., Shevelev A. F. (2016) *Tables for Hydraulic Calculation of Water Pipes*. Moscow, Bastet Publ. 428 (in Russian).

Received: 05 December 2023

Accepted: 07 February 2024

Published online: 31 May 2024